

УДК 635.24:632.15

РЕАКЦИЯ РАСТЕНИЙ ТОПИНАМБУРА НА РАЗЛИЧНЫЕ ЭКОТОКСИКАНТЫ*

З.И. Усанова, М.Н. Павлов

Тверская государственная сельскохозяйственная академия, Тверь

Приведены результаты исследований, выполненных в вегетационном опыте (модельном эксперименте) по выращиванию топинамбура на почвах, загрязненных различными экотоксикантами: азотной кислотой (HNO_3), серной кислотой (H_2SO_4) уксуснокислым свинцом ($\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$) и хлористым калием (KCl). Выявлено неодинаковое влияние испытываемых поллютантов на рост, развитие и накопление урожая топинамбура: положительно действует загрязнение азотной кислотой, практически не влияет загрязнение уксуснокислым свинцом, угнетают – высокие дозы серной кислоты и хлористого калия.

Ключевые слова: топинамбур, фитомелиорант, загрязнение почвы, экотоксикант, поллютант, азотная кислота, серная кислота, уксуснокислый свинец, хлористый калий, рост, развитие, урожайность.

Введение. Получение биологически чистой продукции растениеводства предусматривает выращивание сельскохозяйственных культур на почвах, незагрязненных различными поллютантами. Важнейшие антропогенные источники химического загрязнения почвы – это промышленность, транспорт и сельское хозяйство. Одними из основных факторов техногенного воздействия при этом являются: выпадение кислотных осадков (главным образом растворов серной и азотной кислот), поступление в почву тяжелых металлов и неправильное применение органических и минеральных удобрений (Хохлова, 2010).

В связи с высокими объемами техногенного загрязнения почвы и значительной степенью деградации растительного покрова актуальным становится поиск культур, устойчивых к поллютантам.

Одним из таких культур может стать топинамбур – *Helianthus tuberosus* L. Он характеризуется высоким уровнем накопления микроэлементов в различных органах растения и способностью сохранения окружающей среды от загрязнения тяжелыми металлами и

* Работа выполнена при поддержке внутривузовского научного гранта Тверской ГСХА (Прикладные исследования в приоритетных направлениях развития аграрной науки и научного обеспечения АПК).

другими поллютантами (Пасько, 1989, 1996, 1998, 1999; Кочнев, Калиничева, 2002; Решетник и др., 2002; Богачев, Голубкина, 2006). Выращивание его на загрязненных почвах в качестве естественного фитомелиоранта может снизить уровень загрязнения почвы и окружающей среды, сделать их пригодными для ведения земледелия, в том числе органического. Однако, при этом необходимо знать чувствительность культуры к конкретным поллютантам. На загрязненных дерново-подзолистых почвах Верхневолжья подобных исследований не проводилось.

Цель работы – изучить особенности роста и развития растений топинамбура на почвах, искусственно загрязненных серной и азотной кислотой, ацетатом свинца и хлористым калием.

Методика. Исследования проводились в двухфакторном опыте в вегетационных сосудах, в каждый из которых после набивки почвой произведена посадка двух клубней средней фракции.

Почва для набивки сосудов – дерново-среднеподзолистая остаточного карбонатного глееватая на морене. В почве содержалось: гумуса (по Тюрину) – 1,51 %, P_2O_5 – 358 мг/кг и K_2O 95 мг/кг (по Кирсанову), $N_{дг}$ 44,8 мг/кг (по Корнфилду), $pH_{сол}$ – 4,9.

Схема опыта включала:

Фактор А: Тип загрязнения

1. Контроль (без загрязнения), 2. Азотная кислота – HNO_3 (ПДК = 130 мг/кг), 3. Серная кислота – H_2SO_4 (160 мг/кг), 4. Уксуснокислый свинец – $Pb(CH_3COO)_2$ (32 мг/кг), 5. Хлористый калий – KCl (360 мг/кг) (ПДК в соответствии с ГН 2.1.7.2041-06).

Фактор В: Интенсивность загрязнения: 1 ПДК, 3 ПДК, 9 ПДК.

Внесение экотоксикантов осуществлялось два раза: до посадки и при высоте растений 30 см. Способ внесения: полив растворенными в дистиллированной воде соединениями из расчета на кг почвы. Сосуды с почвой перед посадкой выровнены по массе. Масса почвы в каждом сосуде – 7 кг.

Повторность в опыте – четырехкратная; всего вариантов опыта – 52. Объект исследований: лучший для Нечерноземья сорт клубневого направления «Скороспелка» (авторы: Устименко Г.В., Усанова З.И.).

Набивку сосудов провели 29 апреля 2014 г, посадку – 30 апреля. В каждый сосуд высаживали по два клубня. Экотоксиканты в $\frac{1}{2}$ дозы внесли 30 апреля, в полной – 24 июня при поливе. В течение вегетации проводили поливы из расчета 400 мл воды на сосуд через 1-3 дня в зависимости от погодных условий и фазы развития. После полива проводили рыхление почвы. Учет урожая проведен 17 - 18 сентября.

Вегетационные сосуды находились в вегетационном домике с крышей из полиэтиленовой пленки и открытыми боковыми стенками.

В опыте проводили фенологические наблюдения, измерения высоты растений в динамике, определение количества листьев на главном побеге, а так же количества побегов в сосуде. При учете урожая (уборке) определяли: сырую массу ботвы и клубней, содержание сухого вещества в ботве и клубнях (Усанова, 2013).

Интенсивность фотосинтеза определяли 2 раза за вегетацию по количеству накопленного органического вещества путем «мокрого» сжигания высечек определенной площади. Содержание углерода при этом учитывалось титрованием солью Мора (Третьяков и др., 1990; Федорова, 2001). Время измерения – с 9 до 12 часов.

Количественное определение пигментов в листьях производили в ацетоновой вытяжке на спектрофотометре «Grating 722» (Третьяков и др., 1990).

Результаты и обсуждение. Загрязнение почвы поллютантами оказало влияние на появление всходов и развитие растений топинамбура. Так, на 1 день позднее (14.05.14) появились всходы в вариантах 3 и 9 ПДК H_2SO_4 и на 3 дня позднее (16.05.14) – 9 ПДК KCl . В этих вариантах до посадки были внесены экотоксиканты в $\frac{1}{2}$ дозы от значения ПДК, то есть 1,5 и 4,5 ПДК.

Реакция на загрязнение почвы поллютантами проявилась также в генеративном развитии топинамбура. Так, в контроле бутоны появились в 1 сосуде из 12: «в обертке» 6 августа, «на ножке» 25 августа. При загрязнении бутонизация отмечена только у растений в вариантах 3 и 9 ПДК HNO_3 : 4 – 6 августа появились бутоны «в обертке» и 11 – 22 августа «на ножке».

Бутоны на верхних (симподиальных) ветвях образовались 6 – 11 августа в тех же вариантах, как и на верхушке основного стебля. Однако при 3 ПДК HNO_3 бутонизация наступила лишь у растений с одного повторения из четырех.

Зацвели растения (верхушечные бутоны) 30 августа в контроле и при 3 ПДК HNO_3 , и 18 – 19 августа при 9 ПДК HNO_3 .

Таким образом, загрязнение почвы HNO_3 , благодаря улучшению питания растений азотом, способствует ускорению развития топинамбура.

У топинамбура сорта «Скороспелка» урожайность ботвы и клубней находится в сильной прямой связи с высотой растений; коэффициенты корреляции $r = 0,92$ и $0,75$ при высоких значениях критериев Стьюдента (Королева, 2009). Поэтому определение динамики роста растений в высоту может быть важным критерием оценки

реакции топинамбура на характер и степень загрязнения почв поллютантами.

Нами выявлено неодинаковое влияние экотоксикантов на рост растений в высоту (рис. 1).

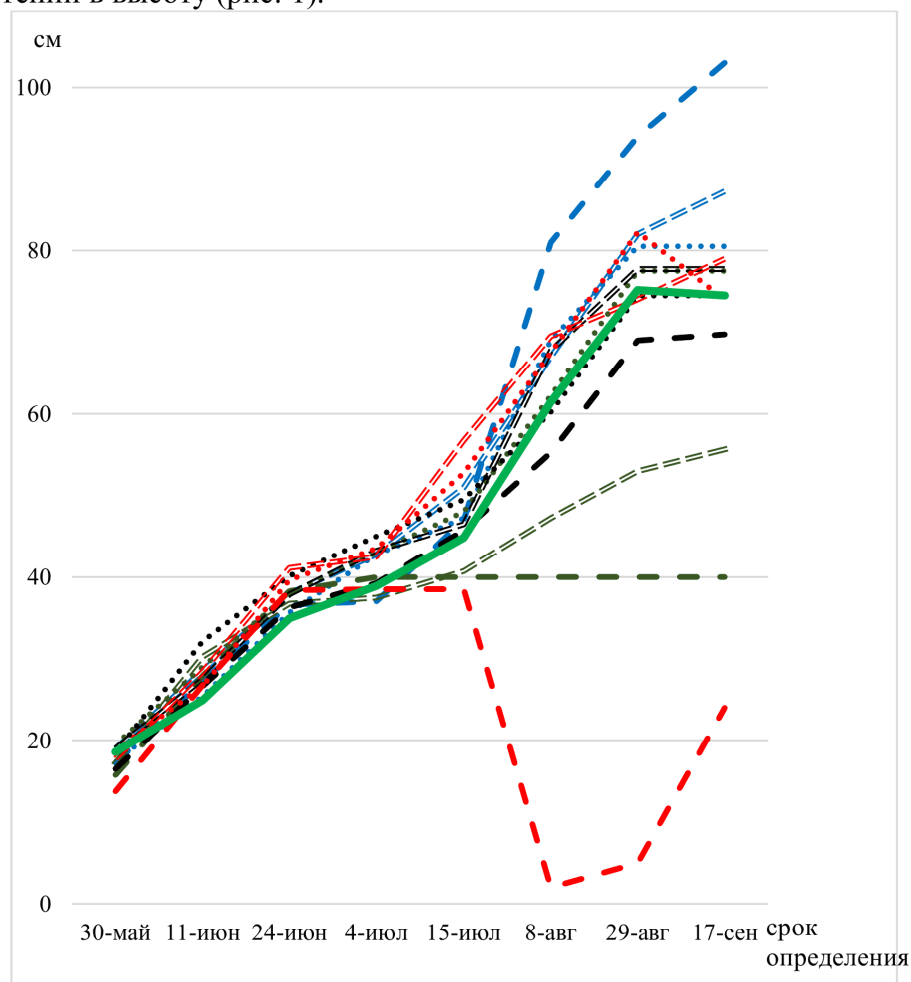


Рис. 1. Влияние степени загрязнения почвы различными поллютантами на динамику роста растений топинамбура, см

Условные обозначения: — - Контроль; ···· - 1хПДК; === - 3хПДК; — — - 9хПДК;
Цвета: — - HNO_3 ; — - H_2SO_4 ; — - $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$; — - KCl .

Так, в начале вегетации – на 16 - 17 день от всходов (30.05) усиление роста в сравнении с контролем наблюдалось в вариантах 3 ПДК HNO_3 , 1ПДК H_2SO_4 , 3ПДК $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$, где растения были на 0,4 – 0,9 см выше, чем в контроле. Наиболее сильное торможение роста отмечалось в вариантах (по мере усиления) 9ПДК $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$, 9ПДК

H_2SO_4 и 9ПДК KCl , в которых растения отставали в росте от контроля на 2,1, 2,8 и 4,8 см. В дальнейшем, к 11.06, отмечено стимулирующее действие всех поллютантов на рост растений. Во всех вариантах с загрязнением почвы высота растений была на 1,0 – 6,3 см больше, чем в контроле. В это время (до 24.06) содержание поллютантов в почве соответствовало $\frac{1}{2}$ дозы. В литературе имеются сведения о положительном влиянии на рост и развитие растений низких доз поллютантов, в частности свинца (Солдатова, Хрянин, 2008).

После внесения остального количества экотоксикантов к 4 июля, практически, прекратили рост в высоту растения в вариантах 9 ПДК H_2SO_4 и 9 ПДК KCl , у которых произошло усыхание нижних листьев; отмечалось полное увядание, а в варианте 9 ПДК KCl – гибель растений.



Рис. 2. Растения топинамбура в вегетационных сосудах, загрязненных азотной кислотой



Р и с . 3 . Растения топинамбура в вегетационных сосудах, загрязненных серной кислотой (H₂SO₄).



Р и с . 4 . Растения топинамбура в вегетационных сосудах, загрязненных уксуснокислым свинцом (Pb (CH₃COO)₂)



Рис. 5. Растения топинамбура в вегетационных сосудах, загрязненных хлоридом калия (KCl).

В период максимума самыми высокими были растения в вариантах: 9ПДК HNO_3 (103,0 см), 3ПДК HNO_3 (87,2 см) и 1 ПДК KCl (82,2 см), которые превышали контроль на 28,5; 12,7 и 7,7 см, а самыми низкорослыми – в вариантах 9 ПДК H_2SO_4 (40 см) и 9 ПДК KCl (24 см), когда после гибели основного стебля началось вторичное отрастание клубня (рис. 2-5).

Таким образом, загрязнение почвы HNO_3 (3 и 9 ПДК), KCl (1ПДК), а так же $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ (3 ПДК) и H_2SO_4 (1 ПДК) сопровождается усилениями роста топинамбура в высоту. Опасным для него является загрязнение почвы H_2SO_4 до 3 и 9 ПДК, $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ до 9 ПДК и KCl до 9ПДК. Усиление роста растений при загрязнении почв HNO_3 и KCl объясняется улучшением питания их азотом и калием, так как нитратный азот является основным источником азота для растений, а KCl – важным калийным удобрением (Ягодин и др., 2002).

В опыте выявлено влияние степени загрязнения почвы различными поллютантами на образование листьев и побегов у растений топинамбура (табл. 1). Насыщение почвы нитратами (HNO_3) усиливает рост в высоту и образование листьев, но подавляет побегообразование в сравнении с контролем. Так, количество листьев

на главном побеге увеличилось, в среднем, на 4,4 – 5,5 шт., а число побегов уменьшилось на 1,7 – 1,9 шт. При этом при 9 ПДК HNO_3 листообеспеченность снизилась с 2,73 (контроль) до 3,25 см стебля на 1 лист.

Все другие экотоксиканты, кроме KCl 1 ПДК, уменьшали высоту растений, количество листьев и побегов в сравнении с контролем. Нами выявлено, что загрязнение почвы KCl на уровне 1 ПДК так же снижает побегообразование. Равное контролю число побегов было в варианте 3 ПДК H_2SO_4 .

Т а б л и ц а 1

Габитус растений топинамбура при разном загрязнении почвы

№ вар	Вариант		Высота, см	Листьев на главном побеге, шт	Побегов в сосуде, шт	Соцветий на сосуд, шт	Листообеспеченность стебля, см на 1 лист
	поллютант	ПДК					
1	Контроль	0	74,50	27,25	5,92	0,33	2,73
2	HNO_3	1	80,50	32,75	4,25	0	2,46
3	HNO_3	3	87,25	32,25	4,00	2	2,71
4	HNO_3	9	103,00	31,67	4,00	3	3,25
5	H_2SO_4	1	77,50	26,00	5,50	0	2,98
6	H_2SO_4	3	55,67	23,50	6,00	0	2,37
7	H_2SO_4	9	40,00	12,25	3,00	0	3,27
8	$\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$	1	74,50	24,50	4,00	0	3,04
9	$\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$	3	77,75	27,50	4,50	0	2,83
10	$\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$	9	69,75	23,50	3,50	0	2,97
11	KCl	1	74,00	25,25	3,75	0	2,93
12	KCl	3	79,00	23,75	3,25	0	3,33
13	KCl	9	24,00	8,00	1,00	0	3,00

Интенсивность и продуктивность фотосинтеза находится в прямой зависимости от содержания пигментов в листьях растений (Кахнович, 2002). Нами выявлено, что загрязнение почвы различными

экотоксикантами в дозе 3 ПДК оказывает существенное положительное влияние на содержание пигментов в листьях топинамбура (табл. 2). Так, на 13.08 (период бутонизации) наибольшее количество хлорофилла А (1,73%) и В (1,27%) содержалось в листьях варианта 3 ПДК HNO_3 . Азот входит в состав хлорофилла, поэтому повышение насыщенности почвы азотом способствовало увеличению количества пигментов в листьях топинамбура. Наименьшее содержание хлорофилла А (0,41%) отмечено в варианте 3 ПДК KCl , где наблюдалось угнетение растения. Количество каротиноидов наибольшим было (0,44 %) так же в варианте с HNO_3 . По состоянию на 13.09 (цветение) сохранилась закономерность по содержанию хлорофилла и каротиноидов, но по большинству вариантов оно уменьшилось в сравнении с 1-ым определением.

Т а б л и ц а 2

Динамика содержания хлорофиллов и каротиноидов в листьях топинамбура

№ вар	Вариант		Содержание пигментов на сырую массу, %					
	поллютант	ПДК	13.08			13.09		
			Хл.А	Хл.В	Кар	Хл.А	Хл.В	Кар
1	Контроль	0	0,46	0,41	0,16	0,32	0,20	0,11
2	HNO_3	3	1,73	1,22	0,44	1,48	0,79	0,44
3	H_2SO_4	3	0,53	0,67	0,12	0,67	0,54	0,25
4	$\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$	3	0,72	0,86	0,21	0,38	0,25	0,11
5	KCl	3	0,41	0,65	0,08	0,40	0,43	0,11

Исследования показали, что увеличение содержания хлорофилла не всегда способствовало повышению интенсивности фотосинтеза топинамбура (табл. 3). Так, при определении этого показателя 15.07 (рост стебля, образование столонов) существенное увеличение накопления органического вещества (почти в 3 раза в сравнении с контролем) наблюдалась в варианте 3 ПДК HNO_3 , что подтверждает более интенсивный рост растений в высоту, образование листьев и побегов. Отрицательное значение интенсивности фотосинтеза отмечено в варианте с 3 ПДК KCl в связи с началом увядания растений и усыханием листьев нижних ярусов.

Таблица 3

Интенсивность фотосинтеза топинамбура в разные периоды вегетации, 2014

№ вар	Вариант		Интенсивность фотосинтеза, мг/см ² /час	
	поллютант	ПДК	15.07	13.09
1	Контроль	0	1,27	-2,55
2	HNO ₃	3	3,82	-3,82
3	H ₂ SO ₄	3	1,27	8,28
4	Pb(CH ₃ COO) ₂	3	1,27	0,64
5	KCl	3	-9,55	5,10

Таблица 4

Урожайность, структура урожая топинамбура, в среднем на 1 сосуд

№ вар	Вариант		Сырой массы, г			Абсолютно сухой массы, г		
	поллютант	ПДК	ботва	клубни	сумма ботва+клубни	ботва	клубни	сумма ботва+клубни
1	Контроль	0	58,85	63,73	122,59	18,06	18,05	36,11
2	HNO ₃	1	73,74	91,26	165,00	23,91	23,31	47,22
3	HNO ₃	3	101,83	170,09	271,92	47,90	31,24	79,14
4	HNO ₃	9	88,37	124,84	213,21	34,89	27,82	62,71
5	H ₂ SO ₄	1	56,25	60,93	117,18	17,41	19,24	36,65
6	H ₂ SO ₄	3	17,55	17,50	35,05	5,27	6,24	11,51
7	H ₂ SO ₄	9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	Pb(CH ₃ COO) ₂	1	56,49	52,80	109,29	14,54	18,13	32,67
9	Pb(CH ₃ COO) ₂	3	51,42	61,68	113,10	17,57	16,98	34,55
10	Pb(CH ₃ COO) ₂	9	46,68	62,28	108,96	18,90	16,86	35,76
11	KCl	1	65,19	58,25	123,44	15,72	17,04	32,76
12	KCl	3	43,01	42,18	85,19	10,26	10,70	20,96
13	KCl	9	10,63	0,00	10,63	0,00	2,21	2,21

Перед уборкой (13.09) наибольшими показателями интенсивности фотосинтеза отличались растения в вариантах 3 ПДК H₂SO₄ и 3 ПДК KCl, что свидетельствует о высокой жизненной силе топинамбура и способности к отрастанию после «отравления» поллютантами. В конечном итоге это не отразилось на приросте надземной и подземной массы растений. В этот срок определения отрицательные значения интенсивности фотосинтеза растений

наблюдались в контроле и в варианте 3 ПДК HNO_3 , что, по-видимому, объясняется оттоком питательных веществ из листьев в клубни.

Учет урожайности топинамбура в сосудах выявил существенное преимущество в накоплении фитомассы насыщения почвы нитратами (HNO_3) (табл. 4). При всех 3-х уровнях загрязнения почвы увеличилась масса ботвы и клубней, в большей мере при 3 ПДК на 42,98 г/сосуд (73,0%), клубней на 106,36 г/сосуд (166,9 %). Общая биомасса (ботва + клубни) возросла на 149,34 г/сосуд или на 121,8%. Это свидетельствует об улучшении питания растений азотом при загрязнении почвы HNO_3 .

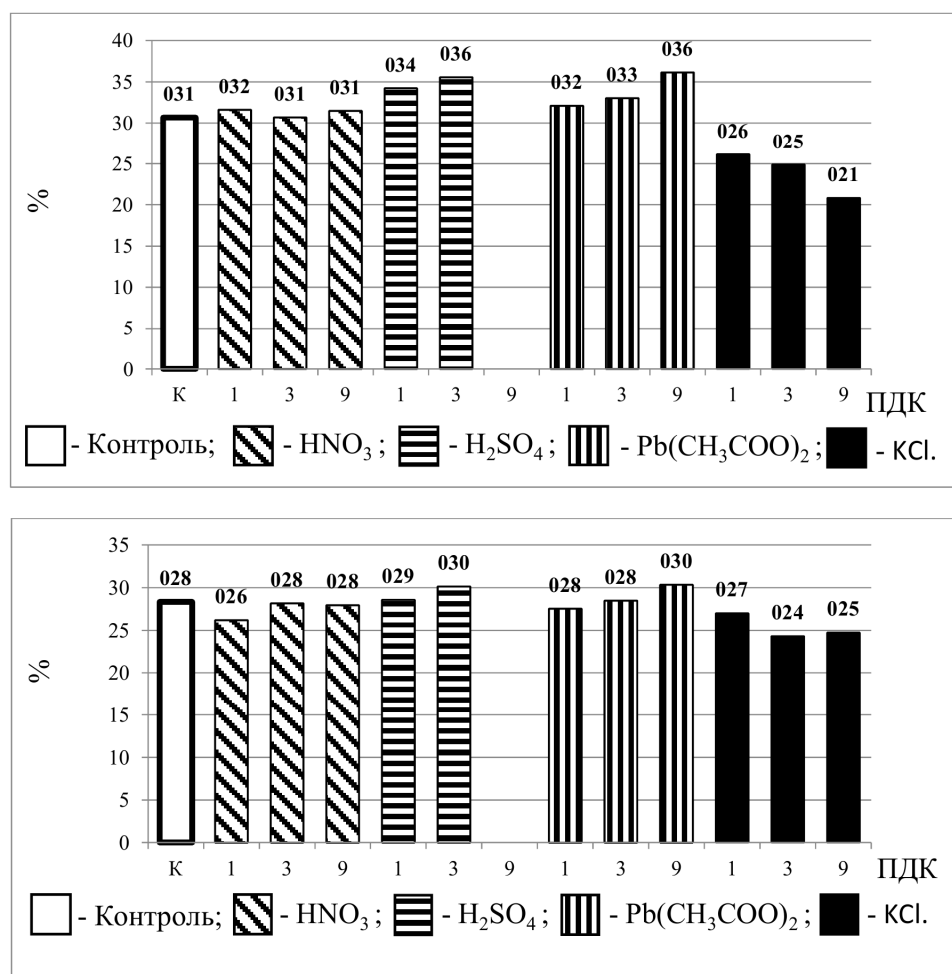
Ближкий к контролю накоплен урожай ботвы в вариантах 1 ПДК H_2SO_4 , 1 и 3 ПДК $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ и 1 ПДК KCl при небольшом снижении массы клубней. По общему урожаю биомассы (ботва + клубни) в этих вариантах разница с контролем составила соответственно –5,4, 13,29 и 9,48 + 0,86 г/сосуд.

Наибольшее торможение роста и развития топинамбура вызывает загрязнение почвы 3-9 ПДК H_2SO_4 и 9 ПДК KCl . При 9 ПДК обоих экотоксикантов растения погибли, а при 3 ПДК H_2SO_4 накоплено фитомассы в 3,5 раза меньше (35,05 г/сосуд), чем в контроле (122,59 г/сосуд). Однако, при 9 ПДК KCl началось вторичное отрастание клубней.

Поллютанты оказали разное влияние на клубнеобразование. Насыщение почвы HNO_3 увеличивало число клубней: при 1 ПДК на 2,5 шт/сосуд, при 3 ПДК – на 11,75 шт., при 9 ПДК – на 7,25 шт. Увеличилось в сравнении с контролем число клубней в варианте 9 ПДК $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ – на 1,75 шт/сосуд. В других вариантах число клубней было меньше контроля, особенно при 9 ПДК H_2SO_4 – в 3,5 раза.

Более крупные клубни сформированы в вариантах с 1 ПДК HNO_3 (9,61 г), 1ПДК H_2SO_4 (10,6 г), 1 ПДК KCl (10,92 г), во втором и третьем случае это обусловлено уменьшением числа клубней на растении.

Поллютанты оказали влияние на форму клубней. Клубни, характерные сорту, сформированы в вариантах с HNO_3 . При загрязнении почвы H_2SO_4 клубни образовались на более длинных столонах с более крупными выростами; $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ клубни имели удлиненно-грушевидную форму с более выраженной верхушечной почкой; KCl – округлую форму и длинные столоны, но в варианте с 1 ПДК KCl отмечалось вытягивание и израстание верхушечной почки.



Р и с . 6. Влияние степени загрязнения почвы различными поллютантами на содержание абсолютно сухого вещества в ботве (вверху) и в клубнях (внизу) топинамбура, перед уборкой.

В урожае абсолютно сухой фитомассы сохранилась та же закономерность по влиянию различных экотоксикантов, которая отмечена по урожаю сырой биомассы (табл. 4). Наибольший выход абсолютно сухой фитомассы обеспечил насыщение почвы азотной кислотой с максимумом при 3 ПДК (79,14 г/сосуд), который был больше, чем в контроле, на 43,63 г/сосуд или на 120,8 %. Близкий к контролю урожай сухой фитомассы накоплен в вариантах с 1 ПДК H₂SO₄, 1-9 ПДК Pb(CH₃COO)₂, 1 ПДК KCl. При 9 ПДК H₂SO₄ растения погибли, а при 9 ПДК KCl после усыхания стебля сохранились молодые мелкие клубни; их урожай был низкий. Низкий урожай сухой

фитомассы (11,51 г/сосуд) накоплен в варианте 3 ПДК H_2SO_4 .

Различия в урожаях сухой и сырой фитомассы по вариантам опыта обусловлены изменением в содержании абсолютно сухого вещества в ботве и клубнях (рис. 6).

Более высоким содержанием сухого вещества в ботве и клубнях отличались варианты с 1 и 3 ПДК H_2SO_4 , 1 – 9 ПДК $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$, что, на наш взгляд, обусловлено более ранним старением растений.

Отрицательное влияние насыщения почв KCl до 1 и 3 ПДК отразилось на существенном снижении содержания сухого вещества в ботве и клубнях: в ботве на 4,53 – 5,79%, в клубнях на 1,35 – 4,01%. При 9 ПДК после гибели стебля в конце вегетации в связи с вторичным отращиванием содержание сухого вещества было самое низкое: 20,83 к 24,73 %.

Выводы. 1. Топинамбур положительно реагирует на загрязнение почвы до 1 – 3 – 9 ПДК азотной кислотой, что выражается в ускорении развития растений на 11 – 12 дней, усилении роста в высоту, в повышении содержания зеленых пигментов (хлорофиллов А и Б) и каротиноидов в листьях и интенсивности фотосинтеза в середине вегетации, а в конечном итоге – в повышении урожайности сырой и сухой фитомассы. Урожай сырой фитомассы возрастает при 1 ПДК на 34,6 %, 3 ПДК на 121,8%, 9 ПДК на 73,9 %, клубней соответственно на 43,2, 166,9 и 95,9 %, сухой фитомассы – на 30,8, 119,2 и 73,7 %.

2. Загрязнение почвы серной кислотой до 1 и 3 ПДК оказывает отрицательное влияние на развитие растений; в начале вегетации при дозах 0,5 – 1,5 – 4,5 ПДК ускоряет, а затем при полной дозе – тормозит рост в высоту. При 9 ПДК рост приостанавливается полностью; происходит усыхание побегов и гибель растения. При 3 ПДК H_2SO_4 увеличивается содержание в листьях хлорофиллов А и Б; в конце вегетации повышается интенсивность фотосинтеза. Сбор сырой и сухой фитомассы при 1 ПДК остается на уровне контроля. При 3 ПДК сырой сбор уменьшается в 3,5, а сухой – в 3,1 раза за счет увеличения содержания сухого вещества в надземной массе на 4,89 %, а в клубнях – на 1,8 %.

3. Экоотоксикант $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ не оказывает отрицательного влияния на развитие растений. Он в меньшей мере, чем H_2SO_4 , тормозит рост в высоту. При 1 ПДК высота остается на уровне контроля, при 3 ПДК она превышает контроль на 3,25 см, при 9 ПДК – меньше контроля на 4,75 см. При 3 ПДК содержание зеленых пигментов в листьях превышает контрольные варианты, а содержание каротиноидов остается на уровне контроля. Общий урожай сырой и сухой фитомассы при всех 3-х уровнях загрязнения остается близким к контролю, а клубней

снижается только при 1 ПДК на 17,1 % за счет формирования меньшего количества (на 0,75 шт.) и более мелких (на 2,35 г) клубней. Загрязнение почвы $Pb(CH_3COO)_2$ повышает содержание сухого вещества в надземной массе от 1 – 3 – 9 ПДК на 1,44 – 2,36 – 5,47 %, в клубнях от 3 – 9 ПДК на 0,14 – 2,0 %.

4. Загрязнение почвы KCl на уровнях 3 и 9 ПДК оказывает наибольшее отрицательное влияние на рост, развитие и накопление урожая топинамбура по сравнению с другими экотоксикантами. При самой высокой дозе KCl появление всходов задерживается на 3 – 4 дня. При 1 ПДК рост, развитие и накопление урожая проходят на уровне контроля. При 3 ПДК высота растений превышает контроль на 4,5 см, но снижается облиственность и листообеспеченность побегов, в листьях образуется меньше хлорофилла А и каротиноидов, что снижает интенсивность фотосинтеза и ход продукционного процесса. Урожай сырой фитомассы снижается при этом в сравнении с контролем на 30,5 %, сухой – на 42% в связи с уменьшением содержания сухого вещества в надземной массе на 5,79 %, а в клубнях – на 4,01 %. При 9 ПДК после внесения полной дозы наблюдается прекращение прироста и гибель растения с последующим повторным отрастанием.

Список литературы

- Богачев В.Н., Голубкина Н.А. 2006. Аккумуляция селена топинамбуром *Helianthus tuberosus* L. // Топинамбур и другие инулиносодержащие растения – проблемы возделывания и использования: Материалы 6-ой Междунар. науч.-практ. конф., 12-14 сентября 2006 г. Тверь: ТГСХА. 260 с.
- ГН 2.1.7.2041-06. 2006. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. 15 с.
- Кахнович Л.В. 2002. Фотосинтез. Минск: Изд-во БГУ. 168 с.
- Кочнев Н.К., Калиничева М.В. 2002 Топинамбур биоэнергетическая культура XXI века. М.: Типография «Арес». 76 с.
- Королева Ю.С. 2009. Удобрение топинамбура при многолетнем использовании плантаций. Дис... канд. с.-х. наук. Тверь: ТГСХА 294 с.
- Пасько Н.М. 1998. Перспективные направления использования топинамбура // Интродукция нетрадиционных и редких сельскохозяйственных растений: Всерос. науч.-производ. конф. Пенза. Т 3. С. 15-19.
- Пасько Н.М. 1996. Топинамбур – источник экологически безопасной растениеводческой продукции (в условиях Северо-Кавказского региона) // Производство экологически безопасной продукции растениеводства. Пушкино. Вып. 2. С. 201-202.
- Пасько Н.М. 1999. Топинамбур – биотехнологический потенциал для пищевых, лечебных, технических, кормовых и экологических целей // Инновационные технологии и продукты. Новосибирск. Вып. 3. С.9-16.

- Пасько Н.М. 1989. *Helianthus tuberosus* L. (Морфология, классификация, биология, исходный материал для селекции). Автореф. дис...д-ра с.-х. наук. Л. 36 с.
- Решетник Л.А., Кочнев Н.К., Прохоров С.Ю. 2002. Сравнительная оценка пищевой ценности топинамбура // Растительные ресурсы для здоровья человека (возделывание, переработка, маркетинг): Материалы первой Междунар. науч-практ. конф. М.: Типография «Арес». С. 50-51.
- Солдатова Н. А., Хрянин В. Н. 2008. Влияние соли свинца на ростовые процессы у растений *Cannabis sativa* L. // Известия Пензенского гос. пед. ун-та им. В.Г. Белинского. № 10. С. 215-218.
- Третьяков Н.Н., Карнаухова Т. В., Паничкин Л.А. 1990. Практикум по физиологии растений: 3-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат. 271 с.
- Усанова З.И. 2013. Методика выполнения научных исследований и курсовой работы по растениеводству: учебное пособие. Издание 2-е перераб. и доп. Тверь: ТГСХА. 127 с.
- Федорова А.И. 2001. Практикум по экологии и охране окружающей среды: учебное пособие. М.: ВЛАДОС, 288 с.
- Ягодин Б. А., Жуков Ю. П., Кобзаренко В. И. 2002. Агрохимия. М.: Колос. 584 с.

TOPINAMBOUR RESPONSE TO VARIOUS ECOTOXICANTS

Z.I. Usanova, M.N. Pavlov

Tver State Agricultural Academy, Tver

The pot experiment (model experiment) by growing the topinambour in polluted soil has been carried out. The following ecotoxigants have been used as pollutants: nitric acid (HNO_3), sulfuric acid (H_2SO_4), lead acetate ($\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$) and potassium chloride (KCl). Different impact of the mentioned pollutants on the growth, development and crops of topinambour is revealed. The nitric acid gave a positive effect; the lead acetate was neutral, whereas high doses of sulfuric acid and potassium chloride had a negative effect.

Keywords: *topinambour, soil contamination, ecotoxigant, pollutant, nitric acid, sulfuric acid, lead acetate, potassium chloride, growth, development, yield.*

Об авторах:

УСАНОВА Зоя Ивановна – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заведующая кафедрой общего земледелия и растениеводства, ФГБОУ ВПО «Тверская государственная сельскохозяйственная академия», 170904, Тверь ул. Василевского (Сахарово), д. 7, e-mail: rastenievodstvo@mail.ru.

ПАВЛОВ Максим Николаевич – аспирант кафедры общего земледелия и растениеводства, ФГБОУ ВПО «Тверская государственная сельскохозяйственная академия», 170904, Тверь ул. Василевского (Сахарово), д. 7, e-mail: mixrobott@gmail.com.

Усанова З.И. Реакция растений топинамбура на различные экотоксиканты / З.И. Усанова, М.Н. Павлов // Вестн. ТвГУ. Сер.: Биология и экология. 2015. № 3. С. 53-68.